

**Avaliação do uso de aerolevantamentos com VANT e processos
fotogramétricos para a determinação indireta de parâmetros geológicos
estruturais**

**Evaluation of VANT aerial surveys and photogrammetric processes for
indirect determination of structural geological parameters**

DOI:10.34117/bjdv5n8-121

Recebimento dos originais: 14/07/2019

Aceitação para publicação: 28/08/2019

Pedro Andrade Coelho

Graduado em Engenharia Geológica pela Universidade Federal de Pelotas

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Praça Domingos Rodrigues, 02 – Bairro Porto, Pelotas – RS, Brasil

E-mail: pedrocoelho.geo@gmail.com

Alexandre Felipe Bruch

Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Praça Domingos Rodrigues, 02 – Bairro Porto, Pelotas – RS, Brasil

E-mail: afbruch@gmail.com

Angélica Cirolini

Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Praça Domingos Rodrigues, 02 – Bairro Porto, Pelotas – RS, Brasil

E-mail: acirolini@gmail.com

Marciano Carneiro

Doutorando em Engenharia de Minas pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Endereço: Av: Bento Gonçalves, 9500, Prédio 74 – Bairro Agronomia, Porto Alegre – RS
Brasil

E-mail: Marciano.carneiro@hotmail.com

Thiago Feijó Bom

Graduado em Engenharia Geológica pela Universidade Federal de Pelotas

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Praça Domingos Rodrigues, 02 – Bairro Porto, Pelotas – RS, Brasil

E-mail: thiagobom77@hotmail.com

Marcos Phillipe Guimarães Faria

Graduando em Engenharia Geológica pela Universidade Federal de Pelotas

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Praça Domingos Rodrigues, 02 – Bairro Porto, Pelotas – RS, Brasil

E-mail: marcoosguimaraes@gmail.com

RESUMO

O levantamento de dados estruturais em campo é um processo que despende tempo e recursos financeiros. Nessa temática, nos últimos anos, vem sendo propostas novas técnicas para o levantamento desses dados, principalmente com imagens de alta resolução obtidas com aerolevantamentos. Como ferramenta de aerolevantamento de alta resolução, os VANTs vieram para suprir essa demanda, com o levantamento rápido e de baixo custo para dados da superfície terrestre. Sendo assim, o objetivo desta pesquisa é avaliar o uso de aerolevantamentos obtidos por VANT, assim como os processos fotogramétricos associados para a determinação indireta de parâmetros geológicos estruturais. A área de estudo é um afloramento situado no interior do município de Caçapava do Sul/RS, na localidade de Minas do Camaquã, às margens do curso médio inferior do arroio João Dias. Para o desenvolvimento da pesquisa, foi realizado um aerolevantamento com um VANT multirrotor e demarcados dez pontos de controle para as correções do mosaico. O mosaico fotogramétrico foi gerado no programa Agisoft PhotoScan, assim como o Modelo Digital de Elevação. Ambos produtos foram importados para o Sistema de Informações Georreferenciadas SPRING onde avaliou-se os parâmetros estruturais de direção e mergulho de camadas geológicas. Para comparação e verificação da acurácia dos dados, foi realizado um levantamento de campo com bússola digital, sendo os dados representados em diagrama de roseta e rede de Schmidt. Na avaliação dos lineamentos estruturais os resultados do aerolevantamento são muito próximos aos dados de campo, sendo que os lineamentos com continuidades espaciais maiores que 15 centímetros são identificáveis. Já na avaliação dos mergulhos, apesar dos resultados de campo e do aerolevantamento serem semelhantes, existe a dificuldade de compará-los, visto que os modos de representação em rede de Schmidt não estão disponíveis em ambiente SIG. Portanto, os resultados deste trabalho demonstram que os aerolevantamentos com VANT podem ser utilizados para o levantamento de estruturas em campo, mas carece do desenvolvimento de ferramentas metodológicas, principalmente de representação de dados estruturais em um SIG.

Palavras-chave: Aerolevantamentos, geologia estrutural, fotogrametria.

ABSTRACT

The collection of structural data in the field is a process that takes time and financial resources. In this area, in recent years, new techniques have been proposed for the collection of these data, mainly with high resolution images obtained with aerial surveys. As a high-resolution aero-surveying tool, the UAVs have come to meet this demand, with the rapid and low-cost survey of land surface data. Therefore, the objective of this research is to evaluate the use of aerial surveys obtained by UAV, as well as associated photogrammetric processes for the indirect determination of structural geological parameters. The study area is an outcrop situated in the interior of the municipality of Caçapava do Sul / RS, in the locality of Minas do Camaquã, the lower middle course of the João Dias stream. For the development of the research, an aero-survey with a multi-rotor UAV was performed and ten control points for the mosaic corrections were demarcated. The photogrammetric mosaic was generated in the Agisoft PhotoScan program, as well as the Digital Elevation Model. Both products were imported into the SPRING Georeferenced Information System where the structural parameters of direction and geological layer dipping were evaluated. To compare and verify the accuracy of the data, a field survey was carried out using a digital compass, and the data were represented by a rosette diagram and Schmidt network. In the evaluation of the structural lineaments the results of the aerial survey are very close to the field data, and the lineaments with spatial continuities larger than 15 centimeters are identifiable. However, in the evaluation

of the dives, although the results of field and aerial survey are similar, there is the difficulty of comparing them, since the modes of representation in network of Schmidt are not available in GIS environment. Thus, the results of this work demonstrate that aerial surveys with UAV can be used to survey structures in the field, but it lacks the development of methodological tools, mainly structural data representation in a GIS.

Keywords: Aerial surveys, structural geology, photogrammetry.

1. INTRODUÇÃO

O estudo de estruturas geológicas é uma área de extrema importância no ramo das geociências e também no setor privado (VASUKI, 2014). O conhecimento de estruturas como falhas, fraturas, discordâncias e dobras podem ser úteis na exploração mineral e na busca por água subterrânea. Desse modo, compreender a relação dessas estruturas com a topografia local torna-se uma ferramenta útil para selecionar áreas com potencial econômico.

De acordo com Vasuki (2014), mapas geológicos possivelmente são a fonte de informação mais básica para registrar dados e estruturas geológicas. Sendo que, segundo Vasuki (2014), os mapas estruturais podem representar informações como localização, direção e mergulho de estruturas de interesse.

O mapeamento geológico geralmente é realizado com ferramentas básicas para o geólogo, como por exemplo: receptor GNSS, bússola e martelo petrográfico. De maneira complementar, uma importante etapa para a elaboração do mapa geológico, principalmente nas etapas de pré campo e de reconhecimento de estruturas geológicas, é a fotointerpretação geológica e a fotogrametria. Essas técnicas envolvem o estudo e a tecnologia capaz de medir objetos através de fotografias, e com o processamento digital é possível gerar produtos onde pode-se realizar medições de objetos em três dimensões (PALERMO, 2013).

Ultimamente o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) tem sido utilizados em diversas áreas de estudo (FAGUNDES, 2019; BRUCH *et al.*, 2019). Segundo Matias *et al.* (2014) o uso de VANT fez com que a fotogrametria fosse melhor divulgada e acessível financeiramente, uma vez que a utilização do equipamento não tripulado permite uma maior agilidade e menor custo quando comparada com uma aeronave pilotada. Além disso, proporciona levantamentos e medições em áreas menores com baixo custo e alta precisão.

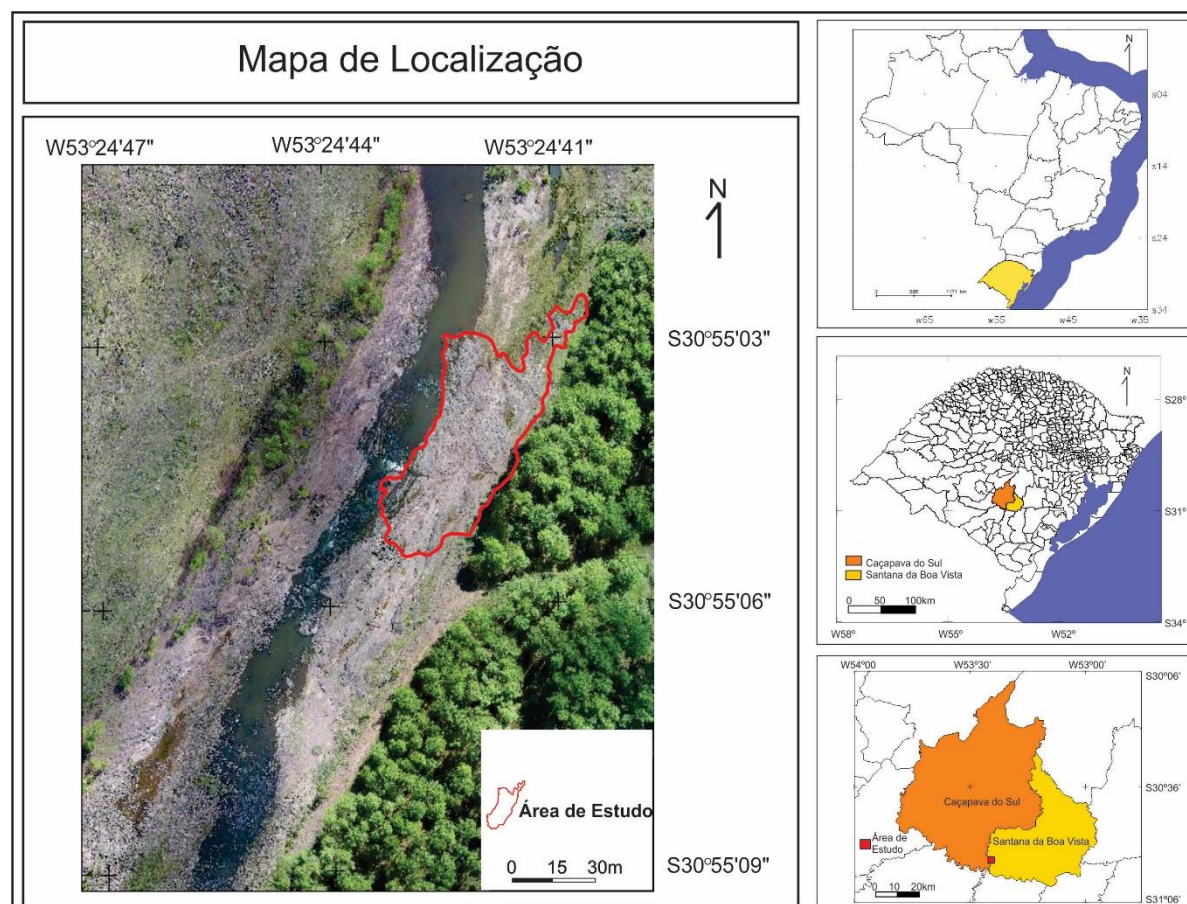
A realização de mapeamentos com uso de VANT no Brasil tem sido aplicada em diversas áreas de estudo, como por exemplo: o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações (BUFFON, 2017); planejamento de uso e ocupação do solo (CÂNDIDO *et al.*, 2016); mapeamento topográfico (MATIAS *et al.*, 2014), elaboração de projetos viários (ALMEIDA, 2014); cubagem de volumes (BRUCH *et al.*, 2019), entre outras aplicações.

Contudo esta pesquisa objetiva realizar um mapeamento estrutural de campo e um aerolevantamento com uso de VANT para verificar a viabilidade do seu uso na coleta dos dados das estruturas e compará-los com dados de campo, consequentemente, verificar de modo indireto a eficácia do aerolevantamento.

Para a coleta de dados de campo, foi utilizado uma bússola digital disponível pelo aplicativo *FieldMove Clino* para *smartphones*. Com esse aplicativo é possível medir a direção e ângulo de mergulho das estruturas geológicas encontradas em campo de maneira ágil. Sendo assim, foi realizado o aerolevantamento com VANT para determinar os mesmos parâmetros definidos pela bússola digital, sendo eles, direção e mergulho das estruturas.

A área de estudo se encontra no distrito de Minas do Camaquã, que pertence ao município de Caçapava do Sul – RS. Trata-se de um afloramento de rochas sedimentares no leito do arroio João Dias, entre as coordenadas 30°55'01" e 30°55'09" de latitude sul e 53°24'39" e 53°24'47" de longitude oeste (Figura 01).

Figura 01: Mapa de localização da área de estudo



As camadas destas rochas se encontram inclinadas, além de apresentar diversos tipos de dobras, conforme a escala de observação. Em vista disso, as características do afloramento (camadas inclinadas) são propícias para verificação indireta dos parâmetros estruturais

(direção e ângulo de mergulho), realizados pelo mapeamento de campo e o aerolevanteamento com uso de VANT.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta pesquisa, realizou-se diversas etapas de campo e laboratório: Reconhecimento e levantamento de estruturas em campo, Levantamento de Pontos de Controle com GNSS, Aerolevanteamento Fotogramétrico com VANT, Processamento Fotogramétrico e Processamento em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

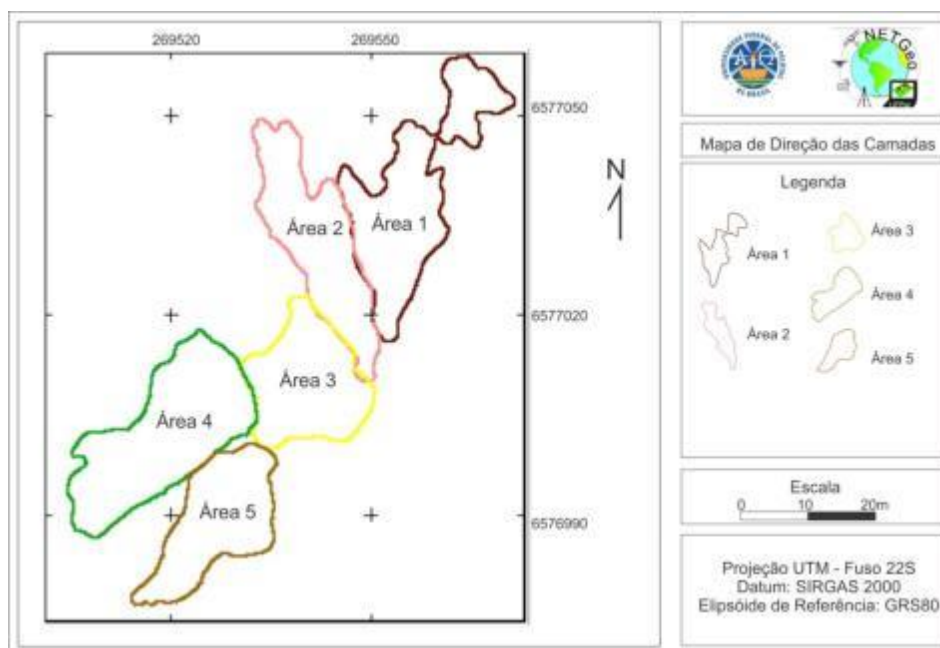
2.1. RECONHECIMENTO E LEVANTAMENTO DE ESTRUTURAS EM CAMPO

Foram realizados dois trabalhos de campo, o primeiro no dia 30 de março de 2019 e o segundo no dia 09 de junho de 2019, onde foi realizado o reconhecimento do afloramento, delimitação das áreas homogêneas e realizadas as medições com bússola do tipo Brunton e bússola digital no *smartphone* com o aplicativo *Field Move Clino* (Figura 02). De acordo com o reconhecimento de campo, o afloramento foi subdividido em 5 áreas de acordo com posicionamento preferencial das camadas geológicas em estudo (Figura 03). Sendo assim, os dados foram registrados em 5 diferentes projetos (áreas), conforme as mudanças significativas de direção e mergulho das famílias identificadas em campo. Cabe destacar que a tecnologia da bússola digital foi utilizada com o intuito de aumentar significativamente o número de amostras e reduzir o tempo de aquisição, sendo que os dados foram comparados com um número menor de amostras realizadas com a bússola Brunton visando identificar discrepâncias.

Figura 02: Determinação da direção e mergulho utilizando *smartphone*.



Figura 03: Mapa com a subdivisão do afloramento em 5 áreas.



O levantamento das medidas dos parâmetros estruturais (direção e ângulo de mergulho) são registradas pela bússola digital da seguinte maneira: Dip/Dip Azimuth. Para a representação das direções preferenciais, é necessário converter os dados de Dip Azimuth em direção, onde são somados ou subtraídos 90° em relação a medida obtida em campo. Esses dados representam o ângulo de mergulho e seu respectivo azimuth, além de registrar a latitude e longitude de cada amostra coletada. Desse modo é possível acompanhar a mudança de direção e inclinação dos planos coletados ao longo das camadas, uma vez que o afloramento em estudo se trata de rochas sedimentares com camadas inclinadas com alguns tipos de dobras que variam conforme a escala de observação. Sendo assim, também é possível determinar uma direção e ângulo de mergulho preferencial (média) de cada área mapeada.

As medidas de campo foram exportadas no formato de planilha CSV conforme exemplo da tabela 01, onde observa-se as conversões de Dip/Dip Azimuth. Por fim, os dados são importados para o programa Orient, onde gerou-se os diagramas de roseta.

Tabela 01: Exemplo de dados brutos e corrigidos da bússola digital

Latitude	Longitude	Mergulho	Dip/Azimute	Direção/Rumo	Direção/Azimute
31°46'11"	52°20'12"				
S	W	33° NE	61°	29° NW	331°
31°46'11"	52°20'12"				
S	W	36° NE	65°	25° NW	335°

31°46'11" S	52°20'12" W	33° NE	58°	32° NW	328°
30°55'03" S	53°24'40" W	33° NE	48°	42° NW	318°
30°55'03" S	53°24'41" W	34° NE	49°	41° NW	319°
30°55'03" S	53°24'41" W	34° NE	59°	31° NW	329°
30°55'03" S	53°24'40" W	33° NE	60°	30° NW	330°

2.2. LEVANTAMENTO DE PONTOS DE CONTROLE

Para o georreferenciamento de precisão foram rastreados em campo 10 pontos de controle. Para tanto, utilizou-se um par de receptores Geodésicos com correção diferencial (Real Time Kinematic - RTK). Na técnica RTK, a estação base recebe os dados brutos da estação móvel, gera e transmite as correções diferenciais para a estação móvel, que utiliza essas informações para determinar a sua posição. O resultado deste tipo de posicionamento são coordenadas corrigidas com precisão na ordem subdecimétrica (FREIBERGER Jr, 2002).

O método de posicionamento geodésico dos pontos de controle são baseados na proposta de BRUCH *et al.* (2019), onde primeiramente são materializados os alvos para o reconhecimento nas imagens (Figura 04).

Figura 04: Materialização dos pontos de controle em campo



A próxima etapa é a instalação da base em ponto materializado, onde é configurado o trabalho com os parâmetros de altura da antena, intervalo de registro de posição e o formato de envio das correções. A partir deste momento, são transmitidas as correções diferenciais para a estação móvel. Na estação móvel (*ROVER*) é realizada a configuração do projeto, onde é considerada a altura da antena e os Sigmas de erro para definição da solução da posição (fixa ou flutuante).

Finalizado o levantamento de campo, as posições dos pontos de controle registradas pelo receptor móvel são planilhadas (Tabela 02). É feito o *download* do arquivo de posição da base em formato *RINEX*. O pós processamento da base para a correção dos erros foi realizado através do sistema de Posicionamento por Ponto Preciso-PPP do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O sistema de referência geodésico utilizado foi o SIRGAS 2000.

Tabela 02 - Pontos de Controle corrigidos rastreados em campo

Ponto	Latitude (S)	Longitude (W)	Z (m)
1	-30.92141502	-52.41247908	148.329
2	-30.91941233	-53.41175666	148.679
3	-30.91739041	-53.41103875	148.669
4	-30.91611962	-53.41109787	148.769
5	-30.91854188	-53.41199517	148.910
6	-30.92056355	-53.41267725	148.833
7	-30.92028138	-53.41308641	148.562
8	-30.91826470	-53.41237233	148.201
9	-30.91624607	-53.41164810	147.988
10	-30.91694974	-53.41291616	147.942

2.3. AEROLEVANTAMENTO FOTOGRAFÉTRICO COM VANT

Para o aerolevanteamento da área de estudo utilizou-se um VANT de asa rotativa, modelo *Phantom 4 Advanced*, fabricado pela empresa chinesa DJI. O VANT é um equipamento de pequeno porte remotamente controlado que possui uma câmera fotográfica acoplada que gera imagens de alta resolução. As características do VANT são seguintes:

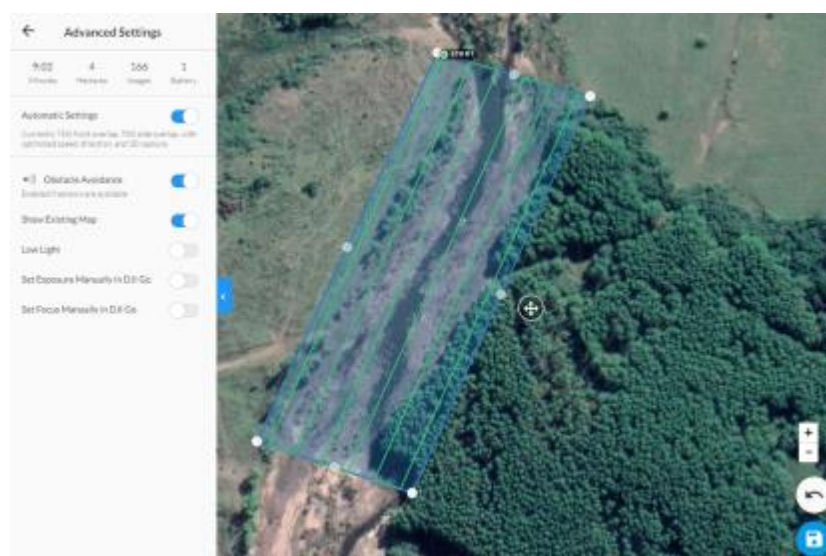
- Peso em ordem de voo: 1368 gramas
- Autonomia de voo: 28 minutos
- Distância máxima de alcance de rádio transmissor: 5 km
- Bateria: LiPo4s de 5870 mAH
- Câmera: Sensor CMOS de 20 Mega pixels
- Dimensão máxima de cada foto: 5472 x 3648 pixels

- Posicionamento Espacial: GPS+GLONASS

Buscando aumentar a precisão do levantamento, principalmente para manter a taxa de sobreposição das imagens, altura e velocidade de voo, foi criado um plano de voo (Figura 05) através do programa gratuito *DroneDeploy*, com as seguintes características:

- Altitude de voo: 50 metros
- Sobreposição lateral das faixas: 60%
- Sobreposição frontal das fotos: 70%
- Azimute de voo: 25°
- Velocidade máxima: 15 m/s
- Visada da câmera: Nadir
- Resolução espacial: 2,0 cm/pixel
- Tempo de voo: 9 minutos e 2 segundos
- Número de fotos: 166

Figura 05: Plano de voo criado no programa DroneDeploy



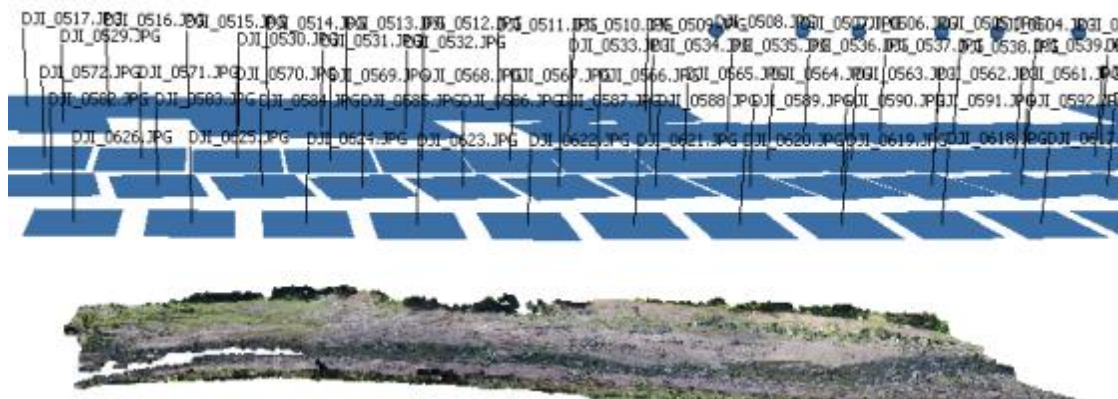
2.4. PROCESSAMENTO FOTOGRAMÉTRICO

Para o processamento fotogramétrico foi utilizado o programa desenvolvido pela empresa *Agisoft*, denominado *PhotoScan Professional*, conforme a proposta de Jaud *et al.* (2016). Este programa permite a criação de ortomosaicos com alta resolução espacial, através da técnica de mosaicagem com base nas semelhanças entre as imagens (BRUCH *et al.*, 2019).

Segundo Bruch *et al.* (2019), o processamento fotogramétrico deve começar com avaliação visual da qualidade das imagens e dos registros do intervalômetro. Em seguida, foi

realizada à importação das imagens e o alinhamento das mesmas (Figura 06), onde o programa define os parâmetros da câmera utilizada, o Ponto Principal (pp) e a rotação das fotos. Também foi verificado se toda área havia sido imageada durante o levantamento. Apesar das imagens já possuírem um registro com as coordenadas geográficas de localização, estas foram corrigidas através de georreferenciamento com os 10 pontos materializados em campo. Este processo foi realizado para aumentar a precisão do ortomosaico (BRUCH *et al.*, 2019).

Figura 06: Processamento das imagens no PhotoScan com alinhamento de faixas



A etapa intermediária, é a geração a nuvem de pontos homólogos e construído o Modelo Digital de Superfície (MDS). Também foi gerado um ortomosaico para o conhecimento da área. Para a geração destes produtos, o *PhotoScan* utiliza a tecnologia *multiview*, a qual permite processar imagens arbitrárias, com variação de sobreposição, desde que existam pontos homólogos em imagens distintas (BRUCH *et al.*, 2019). Por fim, o ortomosaico e o MDS foram exportados no formato *Taget Image File Format* (TIFF), com resolução espacial de 2 cm.

2.5. PROCESSAMENTO EM AMBIENTE DIGITAL

Na geração dos produtos cartográficos e nas quantificações espaciais, foi utilizado o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING 5.5.1). Este programa foi escolhido porque permite a criação de vetores temáticos e modelos numéricos do terreno, além da análise espacial necessária para a determinação de estruturas geológicas em imagens.

Primeiramente, é criado um banco de dados espacial com as coordenadas limites da área de estudo. Consequinte, foram criados os modelos de dados e importado o mosaico e o Modelo Digital de Superfície - MDS oriundos do processamento fotogramétrico. O mosaico foi importado para um modelo de dados imagem e o MDS foi importado para um modelo de dados numérico e outro modelo Imagem. A próxima etapa foi a criação do modelo Temático,

onde foram vetorizados os lineamentos estruturais (direções) e o MNT onde foram criadas as exposições de vertente (mergulho).

2.5.1. Lineamentos estruturais (Direções)

A direção estrutural é a orientação de uma estrutura em relação ao norte, da linha resultante da interseção do plano da camada com o plano horizontal, ou seja, o ângulo formado entre a linha N-S e a linha de interseção do plano geológico com o plano horizontal, sempre referida ao norte verdadeiro (WINGE, 2001).

Para isso, o modelo numérico do terreno criado no SPRING foi exportado em formato de grade regular e convertido em uma matriz no formato imagem. Consequente, foram aplicados os filtros direcionais passa-altas, sugeridos por Andrades Filho e Fonseca (2009) como sendo os que apresentam os melhores resultados na detecção de lineamentos de estruturas geológicas. Conforme estes autores, os filtros direcionais passa-altas realçam feições em direções pré-determinadas, definidas pelos seus coeficientes numéricos. Seguindo a proposição de Andrades Filho e Fonseca (2009), foram aplicados oito filtros em diferentes direções (Figura 07). A nomenclatura dos filtros denota a direção perpendicular ao lineamento aplicado, evidenciando a intersecção dos planos.

Figura 07: Filtros propostos. Fonte: Adaptado de Andrades Filho e Fonseca (2009).

E - W	N - S	NW-SE	NE-SW
-1	-1	2	-2
-2	2	-1	-1
-1	-1	-2	2
2	-2	-1	-1
4	4	4	4
2	-2	-1	-1
-1	-1	-2	2
-1	2	2	-2
-1	-1	-2	2
2	2	-1	-1
-1	-1	-2	2

W NW - E SE	N NW - S SE	E NE - W SW	N NE - S SW
1	1	-2	-2
-2	1	-2	1
-2	-2	1	1
1	-2	1	-2
4	4	4	4
1	-2	1	-2
-2	1	-2	1
-2	1	-2	1
-2	-2	1	1
1	-2	1	-2
-2	1	-2	1

Após a aplicação dos filtros, foi realizada a avaliação visual dos resultados e verificou-se que o filtro NW-SE foi o que melhor salientou as estruturas, principalmente as direções estruturais. Em seguida, foi realizada a vetorização dos lineamentos estruturais (direções das linhas das camadas do afloramento) conforme a proposta de Carraro e Mexias (2005). Para a quantificação da densidade dos lineamentos das direções das estruturas foi utilizada uma rotina

de Análise Exploratória presente no SPRING. Essa ferramenta permite plotar o diagrama de roseta para avaliação estatística e gráfica das frequências absolutas.

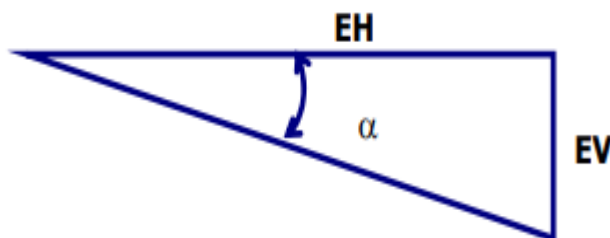
2.5.2. Declividade do relevo (Mergulho)

O mergulho corresponde ao maior ângulo medido entre o plano horizontal e o plano da camada, ou seja, medido perpendicularmente à direção da camada em outra posição, onde se terá um valor menor de mergulho aparente. Na anotação de atitudes de planos ou linhas geológicas, ao valor angular do mergulho deve ser associado o sentido, definido com relação ao Norte verdadeiro, para onde mergulha este plano ou esta linha (WINGE, 2001).

Definição semelhante é utilizada por Valeriano (2008), onde o mergulho é o ângulo de inclinação de uma superfície tendo como referência um plano horizontal. O resultado é expresso em ângulos de 0 a 90°, ou em porcentagem de zero ao infinito. Segundo Valeriano (2008), o cálculo é realizado através do resultado da primeira derivada da elevação em relação a distância horizontal e o resultado depende do intervalo de derivação ou a distância entre os pontos altimétricos. Para isso, o cálculo do mergulho em graus é realizado com base na equação 01 e Figura 08.

$$\alpha = \arctg \frac{EV}{EH} \quad \text{equação 01}$$

Figura 08: Desenho esquemático do cálculo da exposição em graus.

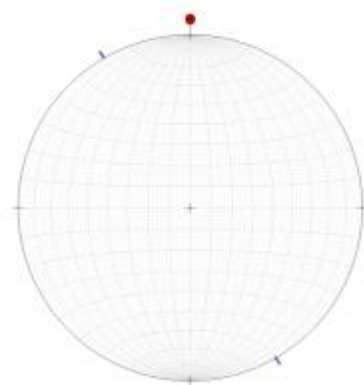


Com base no mapa de declividade, são determinadas as classes de inclinação conforme plano de exposição das camadas, ou seja, são consideradas apenas às exposições dos planos das camadas e desconsideradas as faces que interceptam as camadas. Com base nestes resultados, são elaborados os gráficos com o mergulho médio das camadas.

Já para a representação do ângulo de mergulho das amostras coletadas em campo, foi utilizado uma projeção estereográfica (rede de Schmidt) que se trata de uma maneira de representar dados tridimensionais em um espaço bidimensional. Na posse dos dados de direção e ângulo de mergulho das camadas, é possível representar os mesmos através de um simples ponto chamado polo. Uma vez que, desse modo a rede de Schmidt não fique poluída com muitas informações e os polos sejam identificados facilmente.

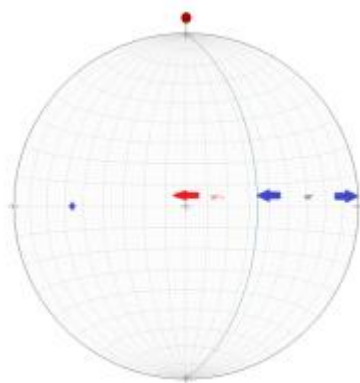
Para demonstrar como é feito a marcação de um polo, foi utilizado o aplicativo livre *online Visible Geology*. O exemplo a ser demonstrado é um plano com direção 30° NW e mergulho 56° NE. O primeiro passo é marcar na rede os pontos (traço roxo) correspondentes a direção do plano como mostra a figura 09.

Figura 09: Traços que representam a direção do plano. Círculo vermelho = Norte



O segundo passo é rotacionar esses pontos marcados até o eixo norte – sul. Logo após isso, traçar a linha do plano com o afastamento de 56° de mergulho. Feito isso basta somar 90° após a linha traçada e marcar o polo do plano (Figura 10).

Figura 10: Linha do plano traçada após rotacionar os pontos marcados no primeiro passo, marcação do polo a 90° da linha do plano. Círculo vermelho = Norte.



Por fim, a densidade de amostras pode ser apresentada através de uma linha com a continuidade espacial ou de pontos. Neste trabalho preferiu-se a representação em pontos, buscando individualizar as amostras e visualiza-las nas imagens.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

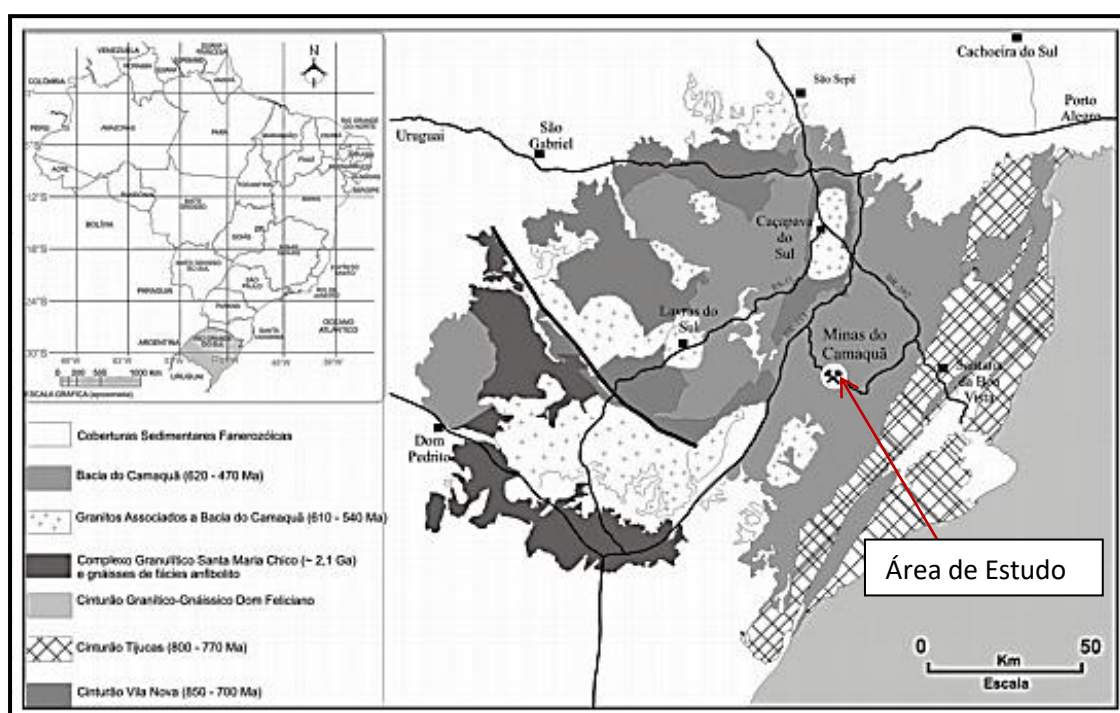
3.1. GEOLOGIA

3.1.1. Geologia Regional

O afloramento selecionado para este trabalho de conclusão de curso encontra-se a aproximadamente 2,55 Km do distrito de Minas do Camaquã, portanto, dentro do contexto geológico da Bacia do Camaquã (BC). A BC é reconhecida por possuir uma geologia complexa. Em sua estratigrafia, encontra-se rochas sedimentares de origem marinha, eólica e aluvial, além de rochas vulcanoclásticas e vulcânicas (BORBA, 2006).

Segundo Chemale (1997, *apud* TROIAN, 2009) pode-se dizer que a BC situa-se sobre as rochas ígneas e metamórficas do Escudo Sul-rio-grandense, e que este escudo, através de estudos geológicos, estratigráficos, estruturais e geoquímicos pode ser agrupado em quatro unidades distintas: (1) Cinturão Dom Feliciano que possui rochas gnáissica-migmatítica-granítica e entende-se que ocorreu um intenso magmatismo 650-590 Ma, além do retrabalhamento de crosta paleoproterozóica (2,30-0,20 Ga); (2) Cinturão tijucas onde se encontra rochas com características de gnaisses, granitos e anfibolitos do paleoproterozóico (2.3-2.0 Ga). (3) Cinturão Vila Nova que contém rochas de afinidade granítica, gnáissica e vulcano-sedimentares do neoproterozóico; por último o (4) Complexo Granulítico Santa Maria Chico que possui rochas de alto grau, onde encontra-se metamorfismo e deformação paleoproterozóica além de protólitos arqueanos (Figura 11).

Figura 11: Compartimentação geológica do escudo sul-rio-grandense.



Fonte: Simplificada e modificada de Paim (1999, *apud* TROIAN (2009).

A origem da BC está relacionada aos processos tectono-magmáticos tardios do Cinturão Dom Feliciano, sendo reconhecido que a bacia possui um lócus deposicional onde se encontra a formação de diversos tipos de bacias sedimentares ainda preservadas Paim *et al.* (2000).

Existem diversos trabalhos sobre a estratigrafia da Bacia do Camaquã, contudo para este trabalho a descrição de toda estratigrafia não é interessante devido ao propósito do estudo. Desse modo optou-se por citar as bacias. Segundo Paim *et al.* (2014), a BC possui em seu registro a sobreposição parcial ou total de quatro bacias, (1) de antepaís de retroarco Maricá (Alogrupo Maricá - AM); (2) transcorrente Bom Jardim Oeste e Leste (Alogrupo Bom Jardim – ABJ); (3) riftes Santa Bárbara Oeste e Leste (Alogrupo Santa Bárbara – ASB); (4) rifte Guaritas (Alogrupo Guaritas – AG).

Pode-se dizer que segundo Paim *et al.* (2000 *apud* PAIM *et al.*, 2014) a sequência Vulcano-sedimentar da BC em geral apresenta uma deformação crescente do topo para a base, ou seja as formações mais antigas (alogramos Maricá e Bom Jardim) apresentam dobras moderadamente apertadas associadas a falhas transcorrentes, inversas e de empurrão.

Contudo o afloramento desse estudo se encontra no ABJ que de maneira sucinta, segundo Paim *et al.* (2014), apresenta uma sequência vulcano-sedimentar com discordâncias angulares limítrofes, que variam de natureza suave na base e suave a acentuada no topo. O ABJ contém em seu registro a deposição de rochas siliciclásticas, vulcanoclásticas além de fluxos piroclásticos e de lava e intrusões hipabissais (PAIM *et al.*, 2014). Segundo Paim *et al.* (2014) a deposição dessas rochas siliciclásticas e vulcanoclásticas ocorreu através de leques deltaicos e deltas de planícies entrelaçadas.

O ABJ possui uma sequência grano-e estrato-crescente, em sua base encontra-se ritmitos pelíticos e areno-pelíticos que gradam de modo vertical para ritmitos arenosos, e de modo avulso corpos arenosos sigmoidais e níveis pelíticos com gretas de contração. A representação dessas fácies, podem ser descritas como turbiditos distais (ritmitos pelíticos e areno-pelíticos) e proximais (ritmitos arenosos) que se associam a depósitos de frente deltaica (arenitos sigmoidais) e eventualmente sofreram exposição subaérea. Já a parte superior do ABJ é caracterizada pela presença de ritmitos arenosos e corpos sigmoidais de maneira avulsa (PAIM, 2000).

3.1.2. Geologica Local

O afloramento alvo desse estudo está inserido no ABJ, não foi encontrado na literatura trabalhos específicos sobre esse afloramento. Para o propósito desse trabalho a descrição da gênese litológica e estrutural não é relevante. Dito isso as informações disponíveis são os dados coletados em campo.

O afloramento encontra-se no leito médio-inferior do Arroio João dias, onde predominam dois tipos de camadas, argilitos e arenitos de cor avermelhada. As rochas apresentam textura afanítica e maciça, de grão fino a médio. A estratificação do arenito é aparente (Figura 12), e possui fraturas preenchidas com quartzo. As camadas possuem um grau de intemperismo elevado. Como já dito na geologia regional, o ABJ possui uma maior deformação comparado aos alogrupos mais recentes. Essa deformação é clara no afloramento, uma vez que as camadas estão inclinadas e existem várias dobras de diferentes escalas de observação.

Em vista disso o afloramento foi escolhido para este trabalho devido as suas estruturas com camadas inclinadas (Figura 13) e deformadas (Figura 14), pois dessa maneira é possível através de um número razoável de amostras planares, determinar uma direção e mergulho preferencial para essas estruturas.

Figura 12: Comportamento geral das camadas aflorantes.



Figura 13: Camadas inclinadas onde se observa o intemperismo elevado



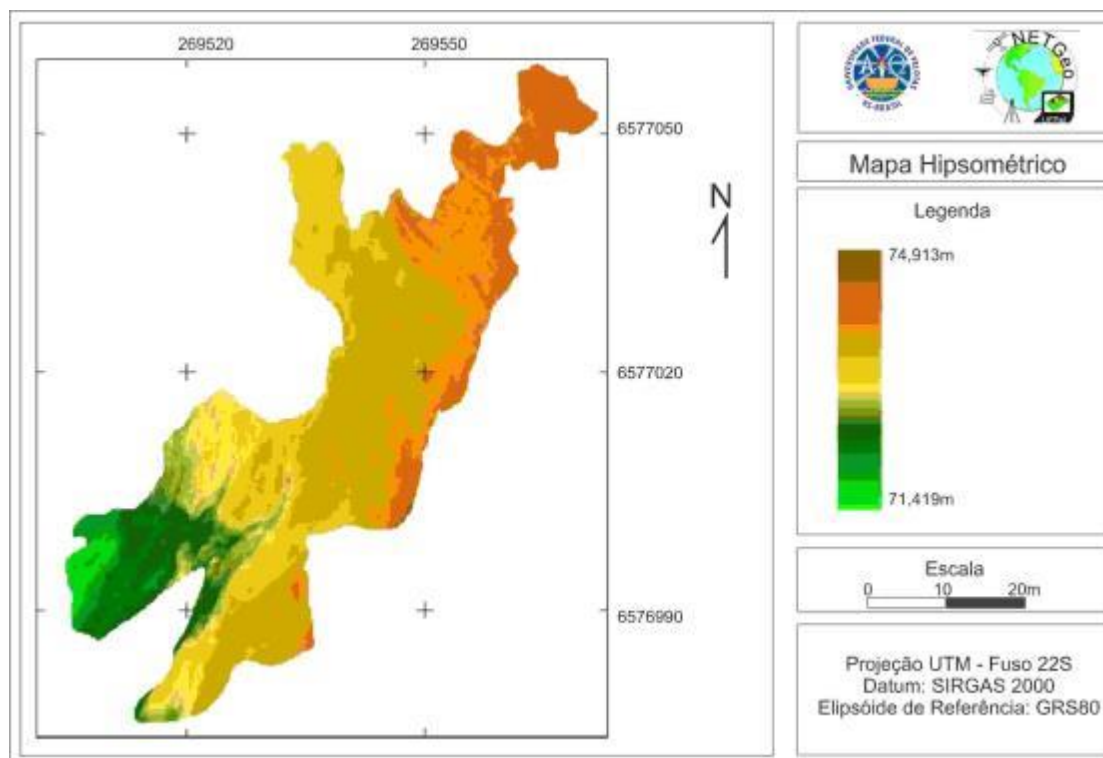
Figura 14: Camadas dobradas.



3.2. MORFOMETRIA DO AFLORAMENTO

O afloramento em estudo está inserido no leito do arroio João Dias, no seu curso médio inferior, sendo uma área com terrenos aplainados pelos processos erosivos denudacionais. Nesse sentido, a amplitude altimétrica do afloramento é de 3,494 metros, variando de 71,419 à 74,913 metros. A altura mais frequente é de 73,509m, próximo a média de 73,743m (Figura 15).

Figura 15: Mapa Hipsométrico da área de estudo

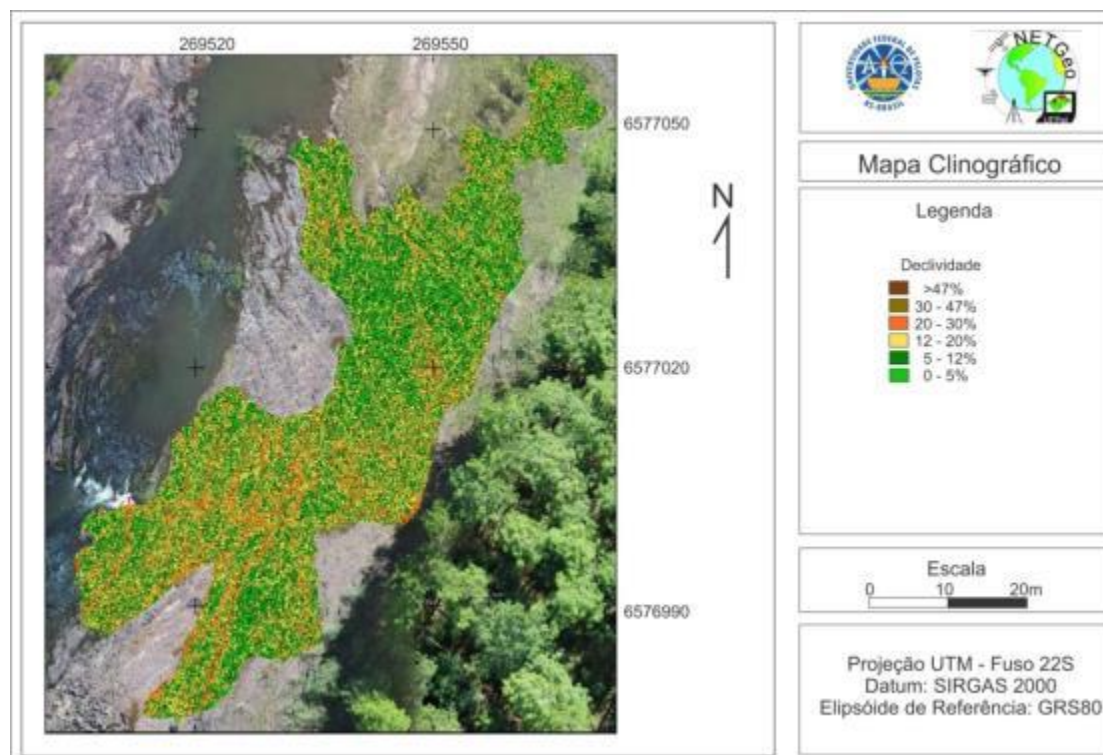


Para a confecção do mapa clinográfico (Figura 16), as altitudes do terreno foram interpoladas com pixel de 20cm buscando regionalizar as amostras, pois a matriz original, com 2 cm é demasiadamente densa para este tipo de análise. Sendo assim, a declividade predominante do terreno está entre 5 e 12% seguido por declividades que variam de 12 a 20% (Tabela 03). Já a declividade menos representativa em área é a classe com inclinações maiores que 47%. Cabe salientar que as classes de declividades supracitadas são valores regionalizados, ou seja, não estão sendo contabilizadas as micro variações de inclinação do terreno, fruto da inclinação das camadas geológicas.

Tabela 03: Declividade do afloramento calculada por área.

Declividade em %	Área em m ²
0 – 5	229,82
5 – 12	632,32
12 – 20	486,85
20 – 30	260,61
30 - 47	108,32
>47	21,09
Total	1.739,01

Figura 16: Mapa clinográfico regionalizado da área de estudo.

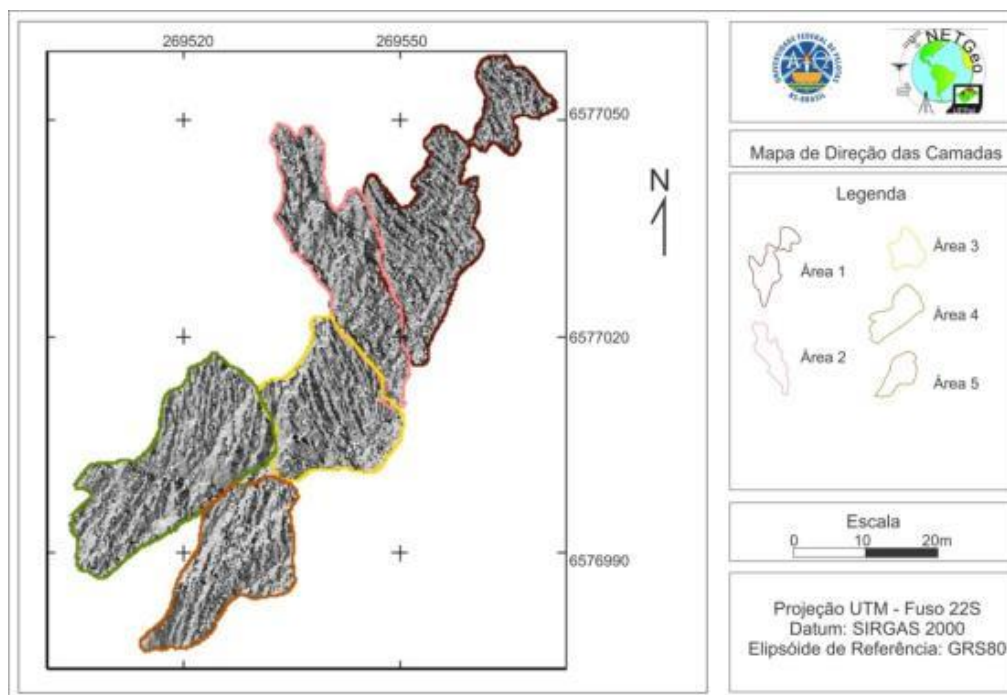


4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. LINEAMENTOS OU DIREÇÕES PREFERENCIAIS

Para a determinação das direções das estruturas sobre o MDS, foram aplicados filtros direcionais, onde geralmente os melhores resultados são gerados por filtros com direção perpendicular ao plano de inclinação da camada (ETCHEBEHERE, 2007, BRUCH, 2014). Sendo assim, o filtro que apresentou os melhores resultados foi o Passa alta com direção NW-SE (Figura 17).

Figura 17: MDS filtrado na direção NW-SE



4.1.1. Área 1

Na análises das direções da área 1, foram determinadas 110 direções em campo e 81 nas imagens, sendo que ficou evidente, tanto no levantamento de campo quanto na imagem, que a direção preferencial é NW (Figura 18). A média das direções em campo foram de N35W, variando de N64W a N09W. Já na imagem, a média das direções foi de N36W, variando de N60W até N10W. As discrepâncias observadas entre as direções do levantamento de campo e com a imagem, são oriundas da regionalização das continuidade espacial das camadas na imagem, enquanto que em campo, pequenas nuances não são discerníveis, principalmente em locais onde o afloramento é densamente fraturado (Figura 19).

Figura 18: Diagrama com as direções da área 1 em campo (A) e na Imagem (B).

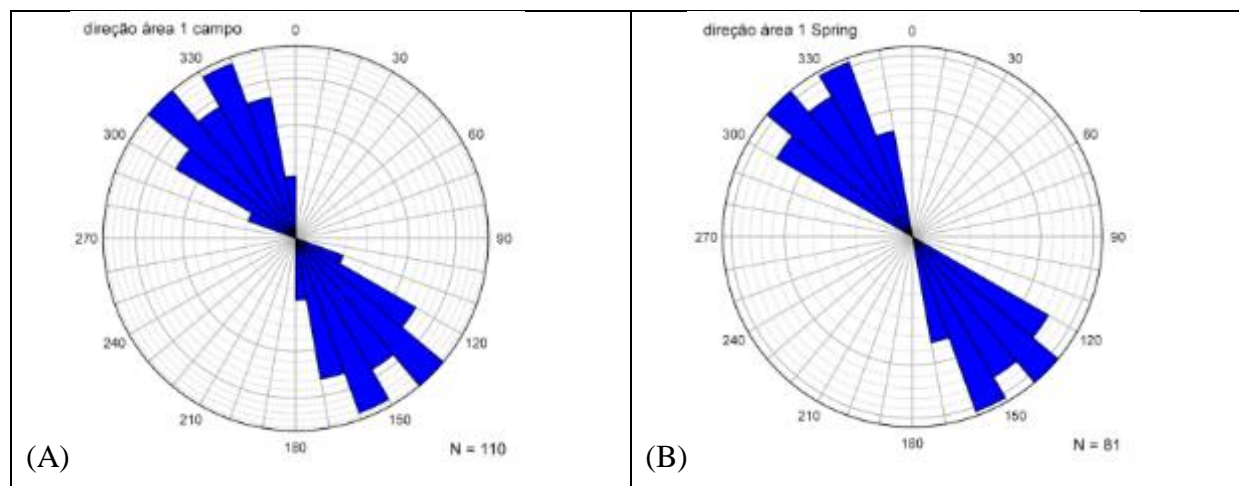


Figura 19: Camadas fraturadas na área 1.



4.1.2. Área 2

Na área 2, foram realizadas 36 medidas em campo e 80 nas imagens, sendo que ficou diagnosticado em campo e na imagem que existe apenas um conjunto de famílias de direção. A direção preferencial é NW, onde a média das direções em campo foram de N14W, variando de N76W a N04E. Já na imagem, a média das direções foi de N19W, variando de N29W até N11E (Figura 20). As discrepâncias observadas entre as direções do levantamento de campo e na imagem, são causadas pela pequena amplitude dos planos de medida em campo (<15cm) (Figura 21), o que dificulta a aquisição do dado e consequentemente a densidade de amostras. Nessa questão acredita-se que a continuidade espacial dos lineamentos de direção na imagem

apresentam maior acurácia comparada com o levantamento de campo, além de um número maior de amostras.

Figura 20: Diagrama com as direções da área 2 em campo (A) e na Imagem (B).

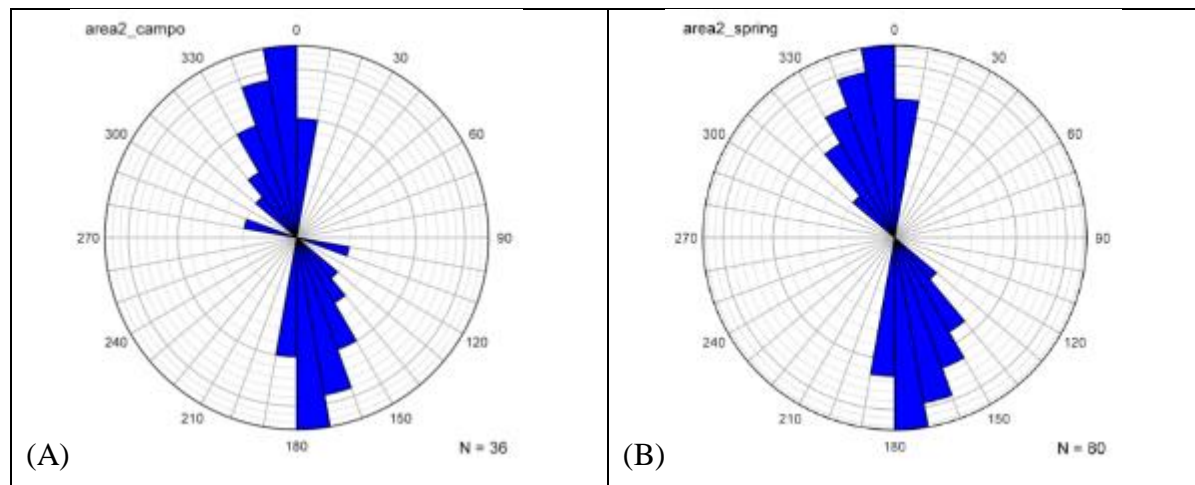


Figura 21: Camadas com planos que pequena amplitude dificultando as medidas.

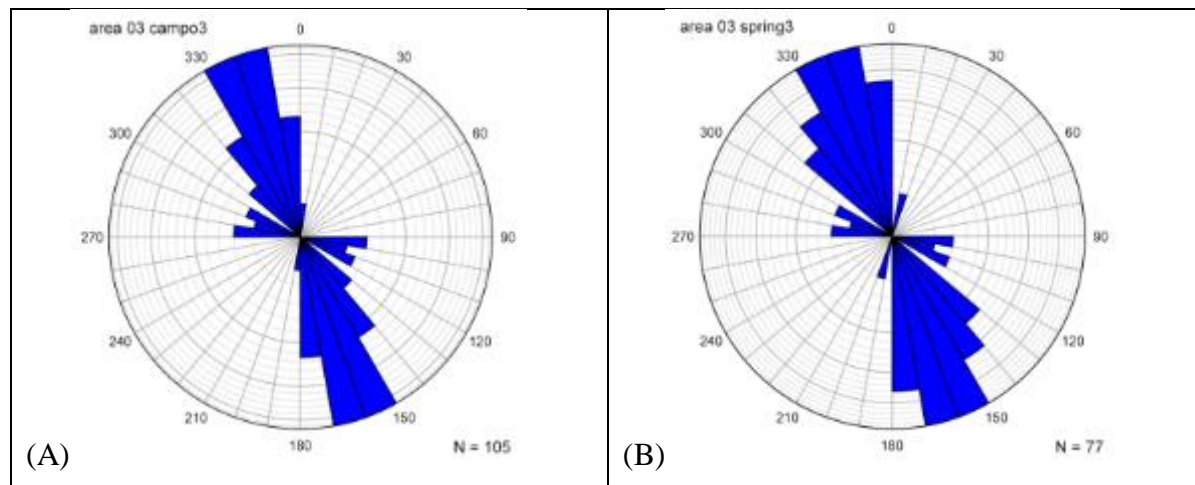


4.1.3. Área 3

As direções encontradas na área 3, seguem a tendência das direções da área 1. Foram determinadas 105 direções em campo e 77 nas imagens, sendo a direção preferencial NW encontrada no levantamento de campo e na imagem (Figura 22). A média das direções em campo foram de N32W, variando de N88W a N02E. Já na imagem, a média das direções foi de N25W, variando de N79W até N11E. As proximidades dos resultados entre a área 1 e 3 demonstram que estas camadas e estruturas pertencem a mesma família, sendo interpostas pela área 2. Conforme o trabalho de Albarnaz (2013) as camadas na região com direções próximas

a N30W estão relacionadas a Antiforme Pedra do Bagual e afloram em regiões próximas a Vila das Minas do Camaquã.

Figura 22: Diagrama com as direções da área 3 em campo (A) e na Imagem (B).



4.1.4. Área 4

No levantamento das direções da área 4, foram determinadas 30 direções em campo e 116 nas imagens, sendo que tanto no levantamento de campo quanto na imagem, que a direção preferencial é NE (Figura 23). A média das direções em campo foram de N18E, variando de N09E a N37E. Já na imagem, a média das direções foi de N14E, variando de N12W até N33E. Esta é uma das áreas com a melhores medidas de campo e na imagem, visto que existe um significativa continuidade espacial nas camadas (Figura 24), facilitando o trabalho de levantamento e aumentando a confiabilidade dos dados.

A área 4 foi entendida como pertencente a um outro grupo de famílias de direções, descritas por Albarnaz (2013) como Sinforme da Represa. As direções encontradas pelo autor supracitado são N21E a N38E.

Figura 23: Diagrama com as direções da área 4 em campo (A) e na Imagem (B).

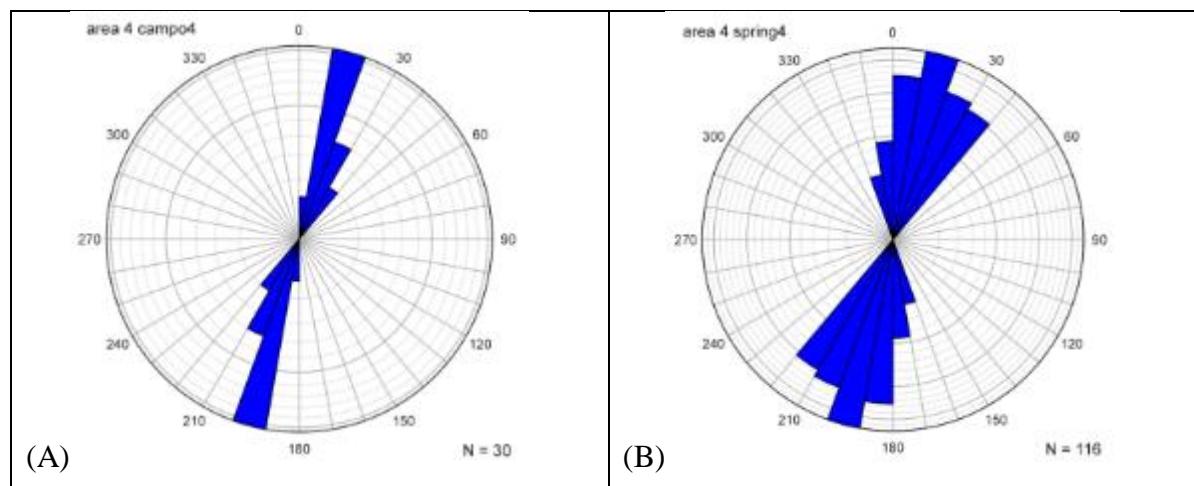
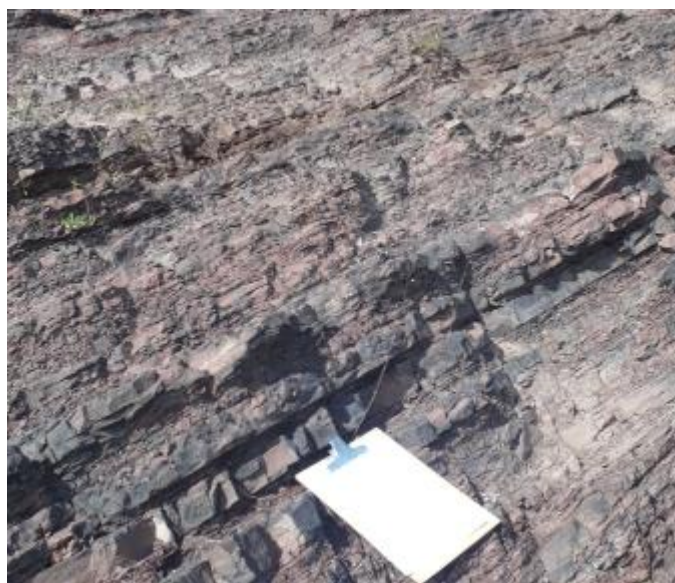


Figura 24: Camadas com planos preservados e com continuidade espacial.



4.1.5. Área 5

Na área 5, foram determinadas 47 direções em campo e 60 nas imagens, sendo que tanto no levantamento de campo quanto na imagem, que a direção preferencial é NE (Figura 25). A média das direções em campo foram de N24E, variando de N15E a N38E. Já na imagem, a média das direções foi de N20E, variando de N12E até N34E.

A área 5 apresenta direções compatíveis com a área 4, com médias próximas e analisadas em campo separadamente visto que existe um plano de falha entre as duas áreas (Figura 26), o que inferiu na separação de mapeamento das mesmas.

Figura 25: Diagrama com as direções da área 5 em campo (A) e na Imagem (B).

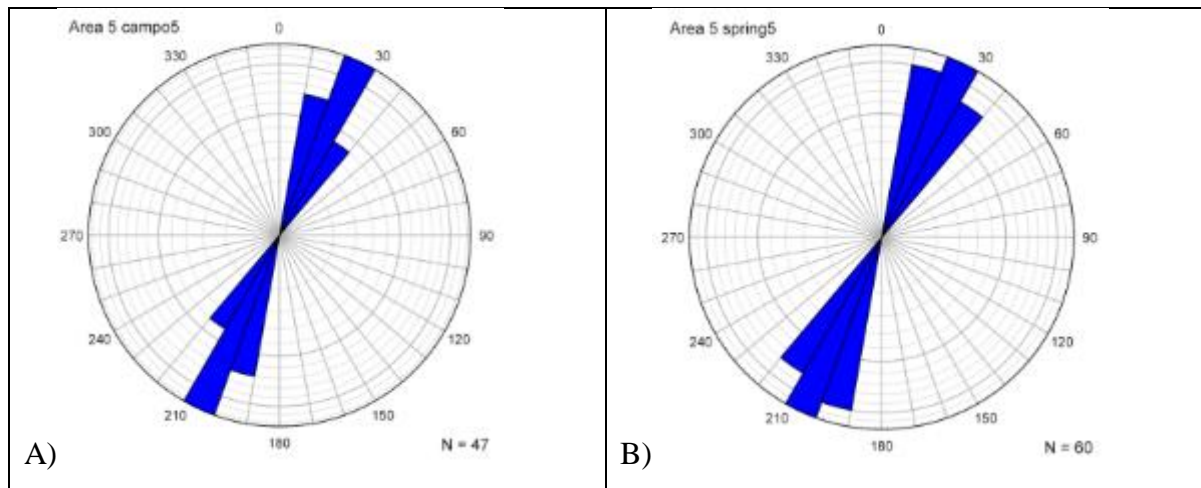
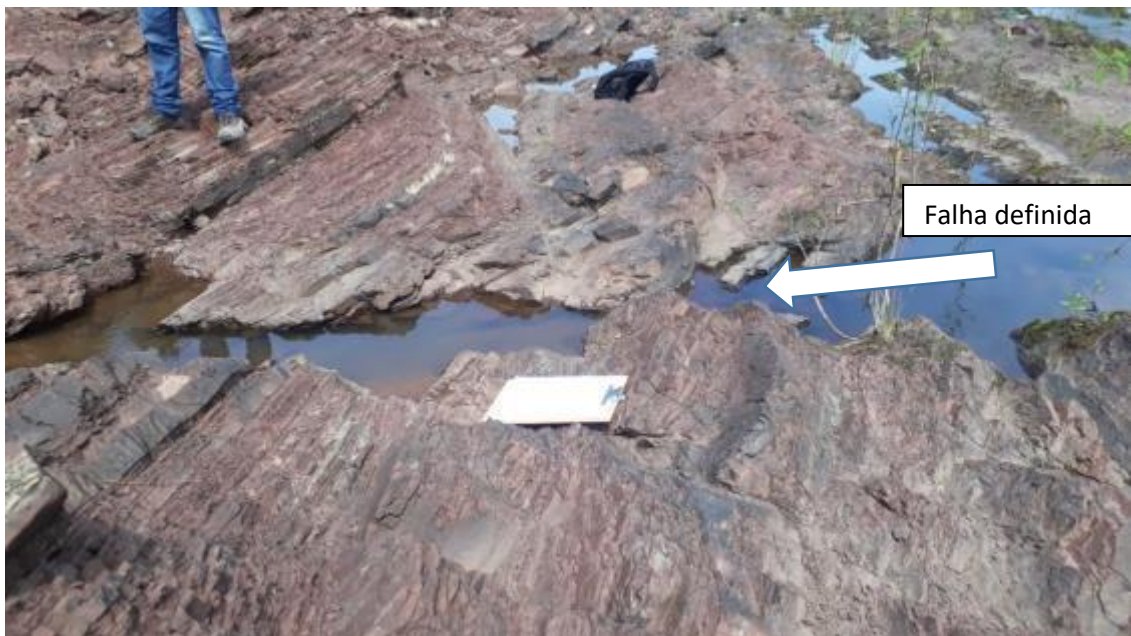


Figura 26: Falha inferida em campo para com separação de áreas de mapeamento.



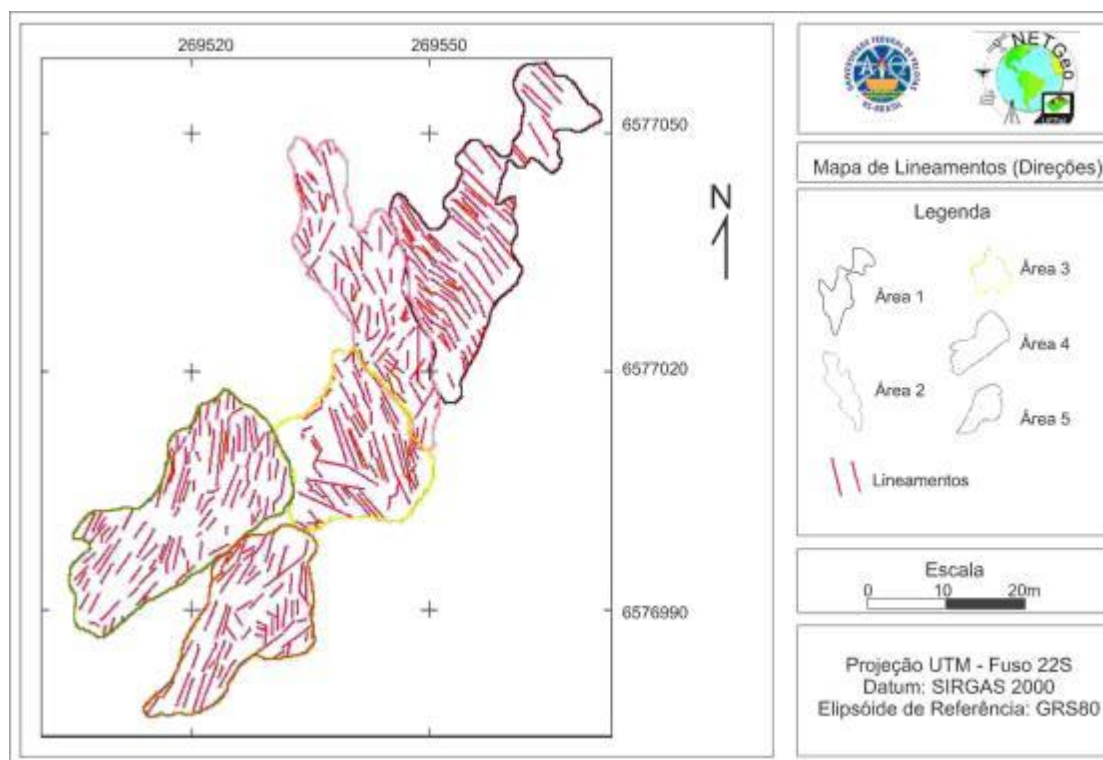
Com o intuito de corroborar com uma análise simplificada e comparativa, foi elaborada a tabela 04, onde consta as comparações das direções médias, e suas respectivas amplitudes direcionais nas 5 áreas mapeadas com ambas as técnicas. Por fim, na figura 27 consta o mapeamento de lineamentos direcionais das camadas obtidas na imagem MDS filtrada.

Tabela 04: Tabela comparativa com as direções medidas em campo e na imagem.

Área	Direção média em campo	Direção média na imagem	Amplitude em campo	Amplitude na imagem
1	N35W	N36W	N64W-N09W	N60W-N10W
2	N14W	N19W	N76W-N04E	N29W-N11E

3	N32W	N25W	N88W-N02E	N79W-N11E
4	N18E	N14E	N09E-N37E	N12W-N33E
5	N24E	N20E	N15E-N38E	N12E-N34E

Figura 27: Mapa de Lineamentos da área de estudo.



4.2. MERGULHO

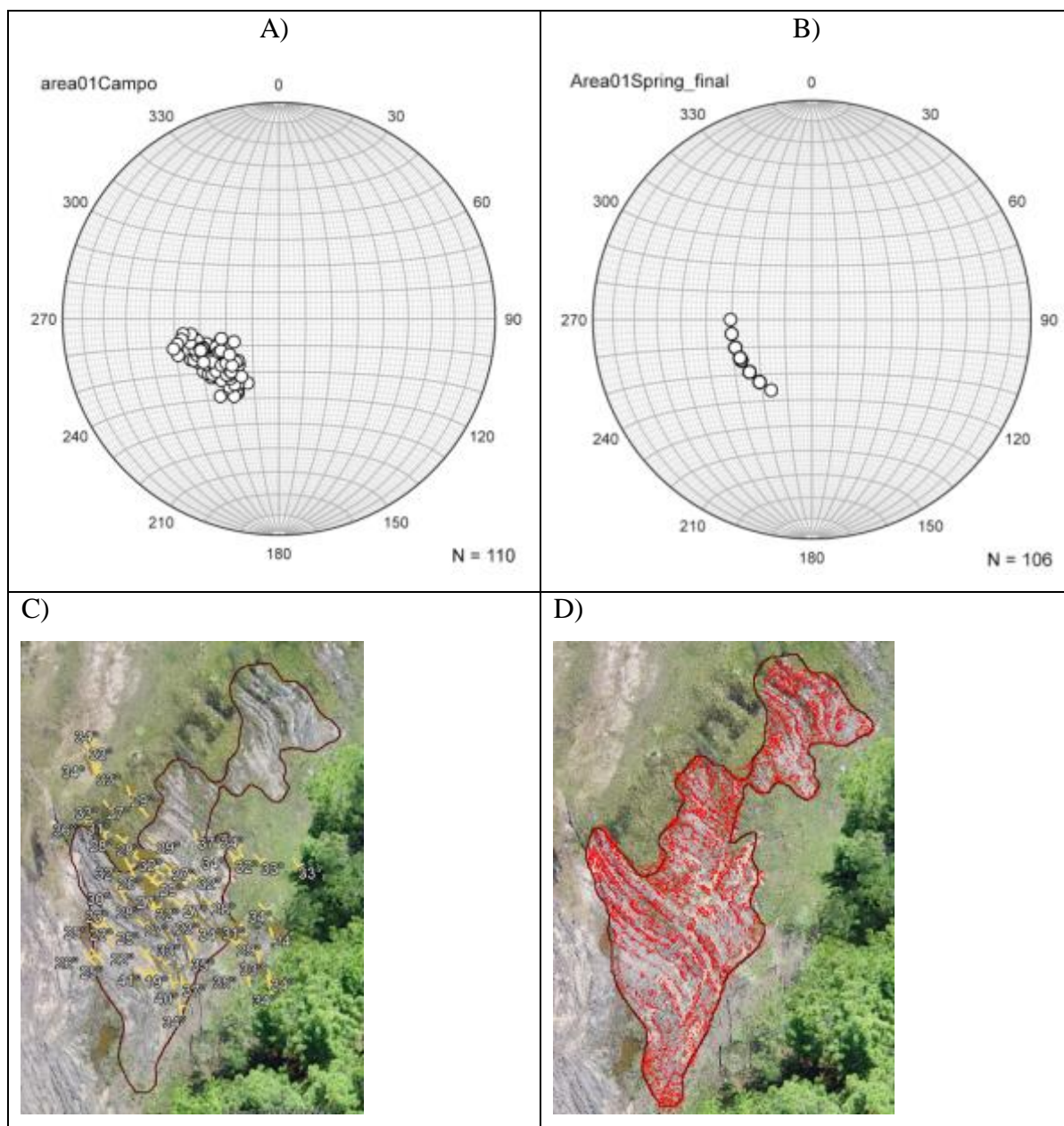
Na análise do mergulho, foram comparados os dados obtidos em campo com a bússola digital e os planos inclinados observados nas imagens oriundas do aerolevantamento e processadas no SPRING. Para a comparação dos dois métodos de aquisição dos dados, os dados foram apresentados de maneira gráfica e estatística através de rede de Schmidt e de maneira gráfica através da representação de mergulhos sobre o mosaico. Cabe destacar que a representação de mergulhos obtidos em campo são apresentados de forma pontual no mosaico, já os obtidos no aerolevantamento são representados com continuidade espacial, visto a ampla quantidade de amostras.

4.2.1. Mergulhos na Área 1

Na área 1, foram medidos 110 ângulos de mergulho em campo, variando de 19° a 42°, com uma média de 30,7°. Já na identificação dos planos nas imagens, os mergulhos variaram

de $21,5^\circ$ até $36,1^\circ$, com uma média de $30,5^\circ$ (Figura 28). A direção de mergulho das camadas em ambos dados foi NE, o que concorda com as direções das estruturas.

Figura 28: Representação da Área 1: (A) Rede de Schmidt obtido em campo; (B) Rede de Schmidt obtido pela média dos pixels da imagem; (C) Ortomosaico com a plotagem pontual dos mergulhos obtidos em campo; (D) Continuidade espacial dos mergulhos obtidos a partir do ortomosaico.

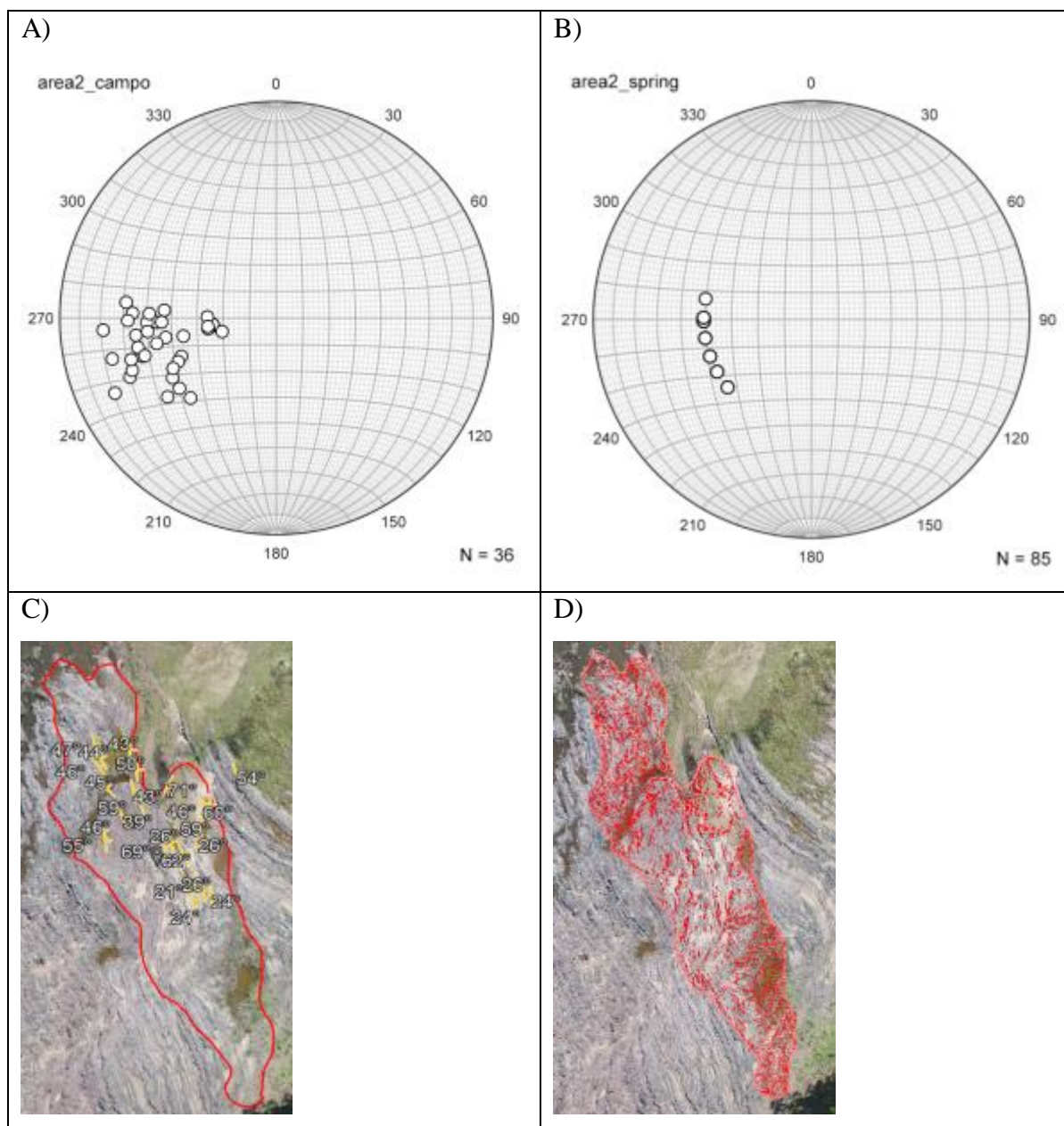


4.2.2. Mergulhos na Área 2

Na área 2, foram medidos 36 ângulos de mergulho em campo, variando de 21° a 71° , com uma média de $46,4^\circ$. Já na identificação dos planos nas imagens, os mergulhos variaram de $24,1^\circ$ até $47,7^\circ$, com uma média de $40,9^\circ$ (Figura 29). A direção de mergulho das camadas

em ambos dados foi N a NE, o que concorda com as direções estruturais. Cabe destacar que os planos apresentam pequena área espacial, o que dificulta a análise da continuidade espacial.

Figura 29: Representação da Área 2: (A) Rede de Schmidt obtido em campo; (B) Rede de Schmidt obtido pela média dos pixels da imagem; (C) Ortomosaico com a plotagem pontual dos mergulhos obtidos em campo ; (D) Continuidade espacial dos mergulhos obtidos a partir do ortomosaico.

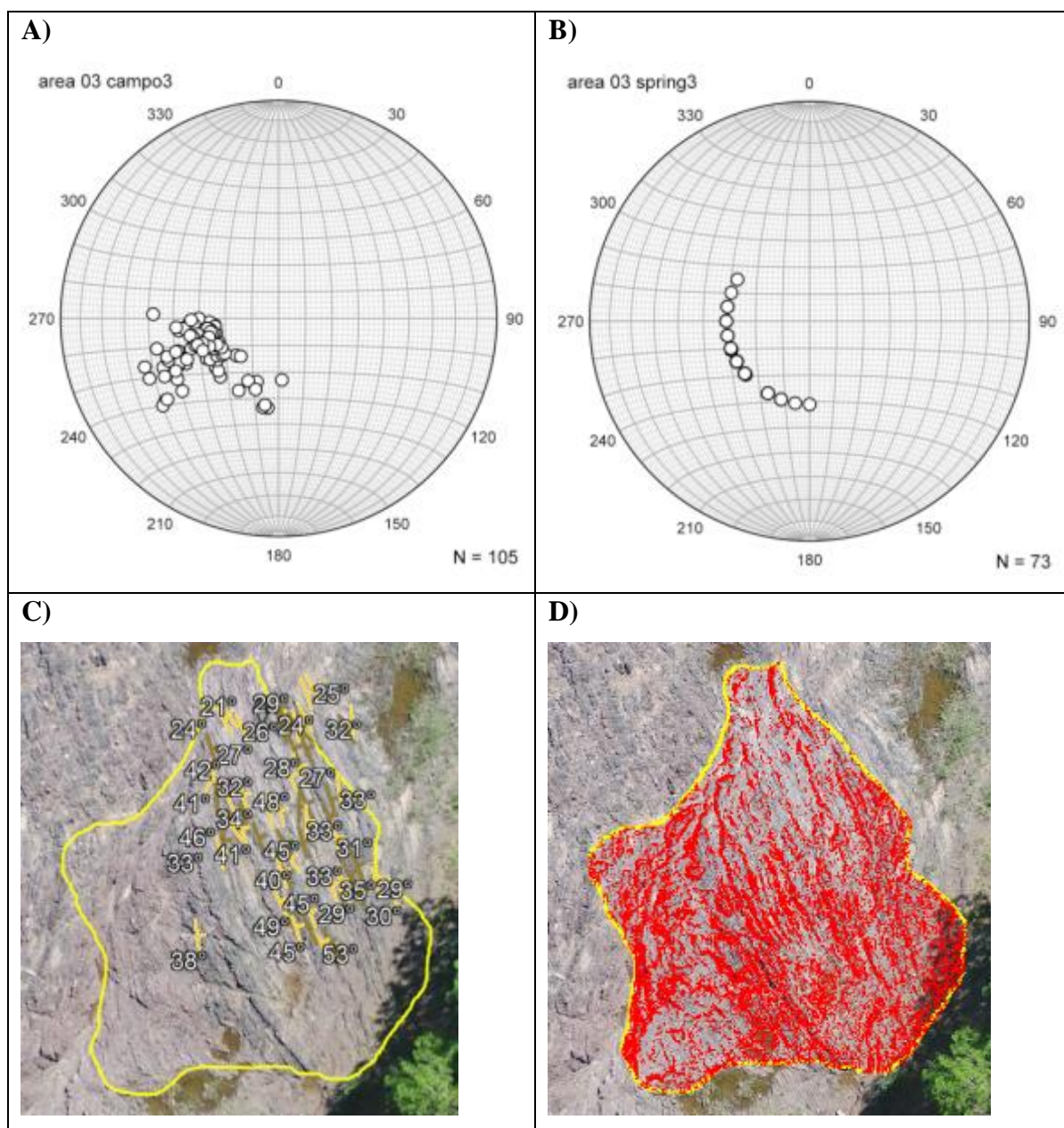


4.2.3. Mergulhos na Área 3

Na área 3, foram medidos 105 ângulos de mergulho em campo, variando de 20° a 56°, com uma média de 32,3°. Nos planos mapeados nas imagens, os mergulhos variaram de 28,5° até 37,9°, com uma média de 31,1° (Figura 30). Essa área acompanha as tendências da área 1,

sendo entendido como pertencente a mesma família com direção de mergulho NE. Nessa área também se encontrou os melhores planos para medidas, visto a preservação das rochas do afloramento.

Figura 30: Representação da Área 3: (A) Rede de Schmidt obtido em campo; (B) Rede de Schmidt obtido pela média dos pixels da imagem; (C) Ortomosaico com a plotagem pontual dos mergulhos obtidos em campo ; (D) Continuidade espacial dos mergulhos obtidos a partir do ortomosaico.

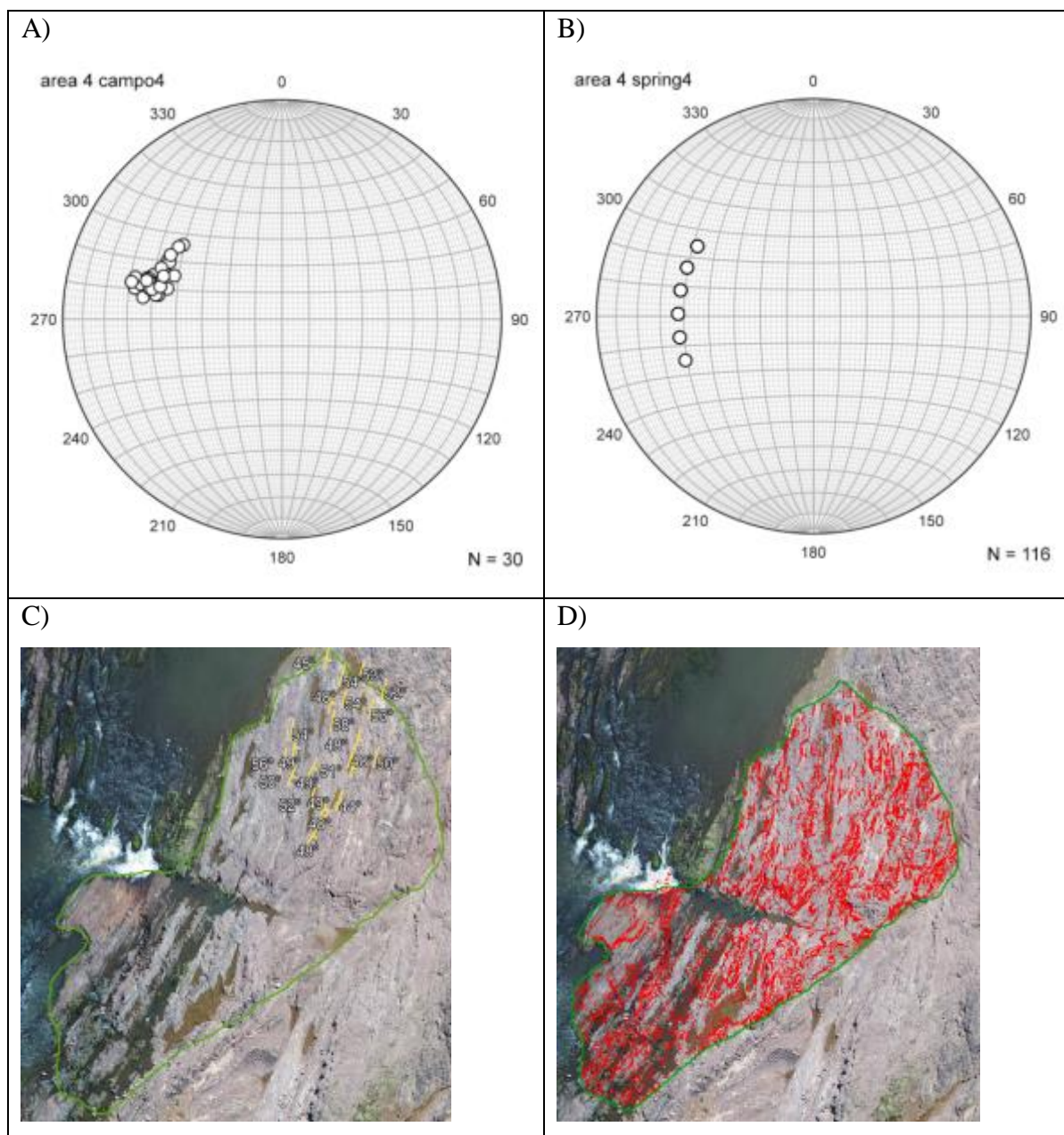


4.2.4. Mergulhos na Área 4

Na área 4, foram medidos 30 ângulos de mergulho em campo, variando de 44° a 60°, com uma média de 51,4° e nas imagens, os mergulhos variaram de 47,1° até 57,6°, com média

de 52,4° (Figura 31), ambos com tendência de direção E. O mergulho nessa área também apresenta uma boa exposição e continuidade espacial das camadas, o que fomenta a acurácia das medidas nas imagens, as quais podem ser observadas na figura 31 (D). As medidas em campo se concentraram na parte norte da área porque o setor sul estava encoberto pelas águas do arroio João Dias.

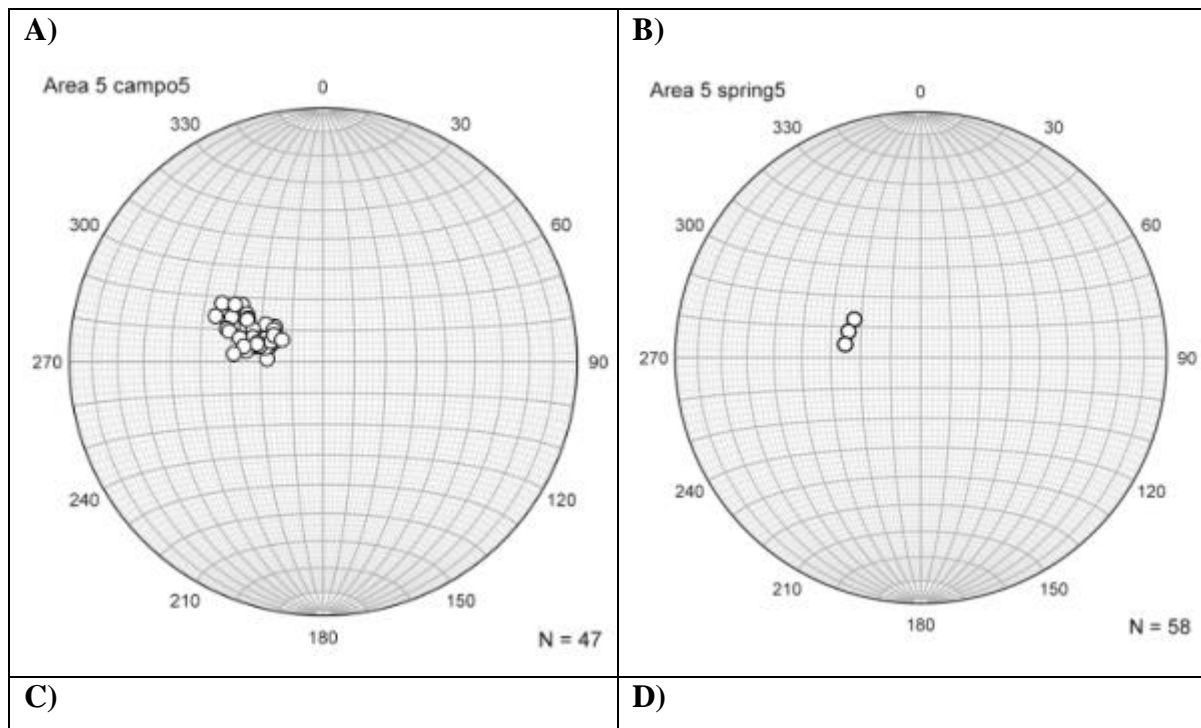
Figura 31: Representação da Área 4: (A) Rede de Schmidt obtido em campo; (B) Rede de Schmidt obtido pela média dos pixels da imagem; (C) Ortomosaico com a plotagem pontual dos mergulhos obtidos em campo ; (D) Continuidade espacial dos mergulhos obtidos a partir do ortomosaico.

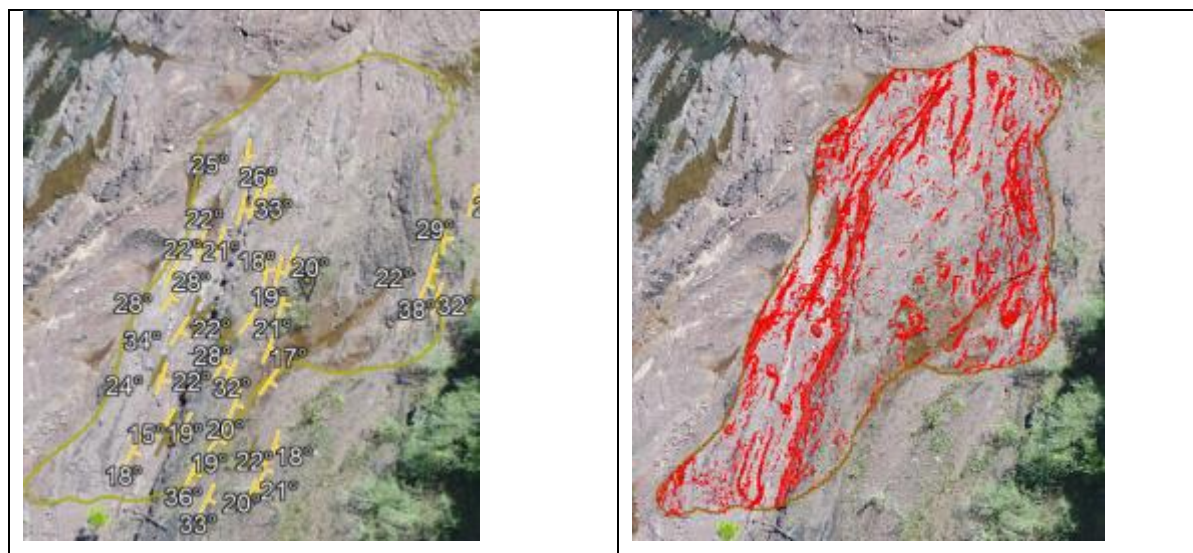


4.2.5. Mergulhos na Área 5

Na área 5, foram medidos 47 ângulos de mergulho em campo, variando de 15° a 38°, com uma média de 24,4°. Os planos nas imagens apresentaram mergulhos variando de 11,9° até 31,5°, com uma média de 22,3° (Figura 32). A direção de mergulho das camadas em ambos dados foi de E à SE, concordando com as direções estruturais. Observa-se que nesta área existem três camadas aflorantes principais que facilitam as medições o que credita acurácia aos dados e a visualização dos planos.

Figura 32: Representação da Área 5: (A) Rede de Schmidt obtido em campo; (B) Rede de Schmidt obtido pela média dos pixels da imagem; (C) Ortomosaico com a plotagem pontual dos mergulhos obtidos em campo; (D) Continuidade espacial dos mergulhos obtidos a partir do ortomosaico.





Buscando comparar os dados de mergulho coletados em campo e mapeados na imagem do aerolevantamento, foi elaborada a tabela 05, onde consta as comparações dos mergulhos médios, e suas respectivas amplitudes nas 5 áreas mapeadas com ambas as técnicas.

Tabela 05: Tabela comparativa com os mergulhos medidos em campo e na imagem.

Área	Mergulho médio em campo	Mergulho médio na imagem	Amplitude em campo	Amplitude na imagem
1	30,7°	30,5°	19° a 42°	21,5° a 36,1°
2	46,4°	40,9°	21° a 71°	24,1° a 47,7°
3	32,3°	31,1°	20° a 56°	28,5° a 37,9°
4	51,4°	52,4°	44° a 60°	47,1° a 57,6°
5	24,4°	22,3°	15° a 38°	11,9° a 31,5°

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia dos VANTs ainda é de uso recente na geologia. Diversas são as pesquisas relacionadas a aplicação da tecnologia, sendo que a maioria concentra-se no reconhecimento do terreno, na topografia e na cubagem de volumes. Este trabalho demonstrou que os aerolevantamentos com VANTs podem gerar produtos que auxiliam no entendimento de estruturas geológicas, principalmente o mergulho de camadas e a direção de planos inclinados.

As medidas realizadas em campo (direções e mergulhos) serviram de referência para a avaliação da acurácia dos produtos gerados com o aerolevantamento. As principais contribuições da pesquisa demonstram que as medidas de direção e mergulho obtidas em campo e no aerolevantamento são compatíveis, com pequenas discrepâncias, principalmente

em planos com exposição menor que 15cm, as quais são de difícil identificação mesmo em imagens com resolução espacial de 2cm.

Também observou-se que provavelmente as medidas obtidas sobre o aerolentamento apresentam maior representatividade acurada nas áreas mapeadas comparando-se com as medidas de campo. Essa afirmação fundamenta-se pela grande densidade de amostras geradas a partir do aerolevantamento.

Cabe destacar que o mapeamento das direções ou lineamentos estruturais foi o que apresentou o melhor resultado, pois as técnicas de geoprocessamento utilizadas são plenamente aplicáveis na identificação destas estruturas. Já a determinação do mergulho de camadas geológicas por meio de aerolevantamentos com VANT ainda carecem de metodologia sistematizada, visto que os modos de aquisição e representação de dados de inclinação de camadas não são contemplados nas ferramentas disponíveis nos SIGs utilizados no mercado. Contudo, a representação em imagens a partir da declividade do terreno foi apenas uma proposta perante a falta de ferramentas mais apropriadas, mas entende-se aqui que existe a necessidade do desenvolvimento de uma ferramenta condizente com os dados obtidos.

Por fim, observou-se que o sucesso da obtenção de dados acurados com aerolevantamentos com VANT depende de equipamentos e metodologias adaptadas para estes levantamentos, sendo um processo extremamente técnico e de conhecimento específico na área da fotogrametria, geodésia, cartografia e SIG. Sendo assim, recomenda-se que estes trabalhos sejam executados apenas por profissionais capacitados nas áreas supra citadas, visando a geração de dados acurados.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. de C. et al. **Estudo sobre o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para mapeamento aéreo com fins de elaboração de projetos viários**. Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2014.

ANDRADES FILHO, C. O.; FONSECA, L. M. G. Lineamentos Estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2009, Natal. **Anais**, São José dos Campos: INPE, 2009. P. 3151-3158.

BORBA, A. W. **Evolução geológica da " Bacia do Camaquã"(Neoproterozóico e Paleozóico inferior do Escudo Sul-riograndense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica.** Tese de Doutorado. PPG em Geociências. UFRGS. 2006.

BRUCH, A. F. **A Mineração e a Paisagem Geoquímica na Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio João Dias, Minas do Camaquã, Caçapava do Sul, RS.** Tese (Doutor em Geografia) PPG em Geografia- UFRGS, Porto Alegre - RS. 2014. 303 p.

BRUCH, A. F.; CIROLINI, A. ; THUM, A. B. ; CARNEIRO, M. **Avaliação da Acurácia das Cubagens de Volumes de Mineração através de Levantamentos Convencionais e Fotogramétricos.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 12, n. 1. p. 283-298, 2019.

BUFFON, E. A. M.; DA PAZ, O. L. S.; SAMPAIO, T. V. M. **Uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para mapeamento das vulnerabilidades à inundação urbana: referenciais e bases de aplicação.** Revista do Departamento de Geografia, p. 180-189, 2017.

CÂNDIDO, A. K. A. A.; SILVA, N. M.; PARANHOS FILHO, A. C. **Imagens de alta resolução espacial de veículos aéreos não tripulados (VANT) no planejamento do uso e ocupação do solo.** Anuário do Instituto de Geociências, v. 38, n. 1, p. 147-156, 2016.

CARRARO, C. C.; MEXIAS, A. S. Imagens de Sensoriamento Remoto no mapeamento de Lineamentos do Centro do Escudo Sul-Rio-Grandense. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais**, São José dos Campos: INPE, 2005. P. 1757-1764.

ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R.; BISTRICHI, C.A.; GARCIA, M.J.; SILVA, M.F.; BEDANI, E.F. **Modelo de evolução geológica da região do atual município de Atibaia (SP).** Revista UnG – Geociências, Guarulhos (SP), v. 6, n. 1, p. 4-31. 2007.

FAGUNDES, M.; RODRIGUES, A.; IESCHECK, A. L. **Uso de vant na cartografia: geração de base cartográfica tridimensional.** DRONES E CIÊNCIA, p. 59. 2019.

FREIBERGER JUNIOR, J. **Análise da degradação do posicionamento em tempo real com o emprego do GNR.** Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2002. 136 p.

JAUD, M., PASSOT, S., LE BIVIC, R., DELACOURT, C., GRANDJEAN, P., LE DANTEC, N. Assessing the Accuracy of High Resolution Digital Surface Models Computed by PhotoScan and MicMac in Sub-Optimal Survey Conditions. **Remote Sensing** [online] 8/6. 2016.

MATIAS, G. R. M.; GUZATTO, M. P.; SILVEIRA, P. G. **Mapeamento topográfico cadastral por integração de imagens adquiridas com vant a técnicas tradicionais.** TCC em Engenharia Cartográfica. UFRGS. 2014.

PAIM, P. S. G.; CHEMALE JR, F.; LOPES, R. da C. **A bacia do Camaquã.** Geologia do Rio Grande do Sul, p. 231-274, 2000.

PAIM, P. S. G.; LOPES, R. C. Geologia da região das Minas do Camaquã. Ronchi, LH & Lobato, A.O.C. (Coords). **Minas do Camaquã, um estudo multidisciplinar.** São Leopoldo, p. 111-132, 2000.

PAIM, P. S. G.; JUNIOR, F. C.; WILDNER, W. Estágios evolutivos da Bacia do Camaquã (RS). **Ciência e Natura**, v. 36, n. 3, p. 183-193, 2014.

PALERMO, R. de A.; LEITE, T. C. **Integração de levantamento fotogramétrico aéreo com o uso de VANT e levantamento fotogramétrico terrestre para o mapeamento tridimensional das ruínas de São Miguel das Missões.** TCC Eng. Cartográf. UFRGS. 2013.

TROIAN, G. C. **A Cloritização na Mina Uruguai, Minas do Camaquã/RS-Brasil.** 2009.

VASUKI, Y. *et al.* **Semi-automatic mapping of geological Structures using UAV-based photogrammetric data:** An image analysis approach. *Computers & Geosciences*, v. 69, p. 22-32, 2014.

WINGE, M. **Glossário Geológico Ilustrado**. 2001. Acesso em 24 de junho de 2019 Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>